

令和 7 年度（2025） 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：次世代の超高エネルギー宇宙線観測のためのフレネルレンズ型 大気蛍光望遠鏡の開発研究 英文：Research and development of a Fresnel lens air fluorescence telescope for the next generation UHECR observation	
研究代表者	多米田 裕一郎(大阪電気通信大学)
参加研究者	岩上 拓生、坂本 琉之助、中山 侑哉、葛谷 侑也、寺元 理貴、中澤 奏 駿、中村 広樹、花岡 大河、梅澤 瑠生、浦田 直希、大藁 勇樹、古西 空、島田 陽生、 竹内 優、谷口 裕司、鳥井 陸駆、元井 諒也、山口 翔生（大阪電気通信大学）、富田 孝 幸、小松晃一、服部拓彦（信州大学）、池田 大輔（神奈川大学）、山崎 勝也（中部大学）、 藤田 慧太郎、岡崎 奈緒（東京大学宇宙線研究所）
研究成果概要 本研究の目的は、将来の最高エネルギー領域における宇宙線観測に向けた、次世代検出 器の開発である。エネルギーが 10^{20} eV を超える最高エネルギー宇宙線は、低エネ ルギ領域とは異なり、宇宙磁場による偏向を受けにくく直進すると考えられている。そ のため、到来方向の精密な測定によってその起源を解明できると期待されている。しか し、その到来頻度は極めて低いため、観測には広大な検出面積が不可欠である。また、 宇宙線の伝播機構は核種（組成）に依存するため、到来方向と併せて質量組成を測定す る必要がある。本研究では、質量組成の測定が可能で、かつ製作・運用コストを大幅に 抑制した次世代検出器「CRAFTT」の研究開発を行い、広大な観測網の実現を目指す。 自動データ取得試験 テレスコープアレイ（TA）実験の FD（大気蛍光望遠鏡）サイトであるブラックロック （BR）において、CRAFTT 望遠鏡 1 台を用いた自動データ取得試験を実施した。本検 出器はフレネルレンズと 12 本の光電子増倍管（PMT）で構成され、視野角は仰角約 18 度、方位角約 24 度である。TA 実験の既存システムから独立してデータを取得するた め、汎用 FADC ボード（CosmoZ、特殊電子回路製）を採用し、2 チャンネル以上に連 続した信号を検知した際に作動する「エニーツーライントリガー」を実装した。また、 CRAFTT は太陽光発電による省電力駆動が前提となるため、独自開発の高圧電源回路お よびアンプ回路を導入した。自動運用システムは、天文薄明の時間に合わせて PMT へ の印加電圧制御と電動シャッターの開閉を自動で行う。天候悪化時には即座にシャッ ターを閉鎖する安全機構も備えている。現在は、試験観測で得られた波形データ（図左） と TA FD のデータとの比較・照合解析を進めている。	

独立した環境下での制御システム試験

BR サイトに設置していた 4 台の望遠鏡のうち 1 台をロングリッジ (LR) サイトへ移設し (図中)、制御システムの動作試験 (データ取得を除く) を実施した。CRAFTT 望遠鏡は移動・設置が容易である反面、従来のワイヤ固定方式では設置精度に懸念があった。そこで本試験では、地中に埋設した台形ネジとコンクリートで固定する新方式を採用し、安定性を向上させた。電源には太陽光発電を用い、後述の Starlink 通信と組み合わせて TA 実験のインフラから完全に独立した制御系を構築した。また、シャッターの状態や気象状況を把握するための環境モニターも整備した。気象観測には自作センサー群に加え、検証用としてウェザートランスミッター (ヴァイサラ社 WXT536) を併設している。本システムは 10 月以降、長期にわたり安定稼働を続けている。

ネットワーク試験

将来の GCOS (Global Cosmic Ray Observatory) 計画のような、既存インフラの乏しい環境での展開を想定し、TA 実験から独立したネットワークの構築・通信試験を実施した。通信手段には衛星インターネット「Starlink」(SpaceX 社) を採用し、BR および LR の両サイトにアンテナを設置した (図右)。VPN 接続および SSH トンネルの活用により、外部からのセキュアなアクセスを確立している。これにより、既存の TA 実験ネットワークを介することなく、環境モニター値や観測データの転送が可能であることを実証した。



図：自動観測試験においてエニーツーライントリガーで取得した波形の例(左)、移設の様子と LR に設置後の固定された望遠鏡(中)、環境モニターの風速計、雨滴計とウェザートランスミッター、および Starlink のアンテナ(右)